

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001306635 A**(43) Date of publication of application: **02.11.01**

(51) Int. Cl.

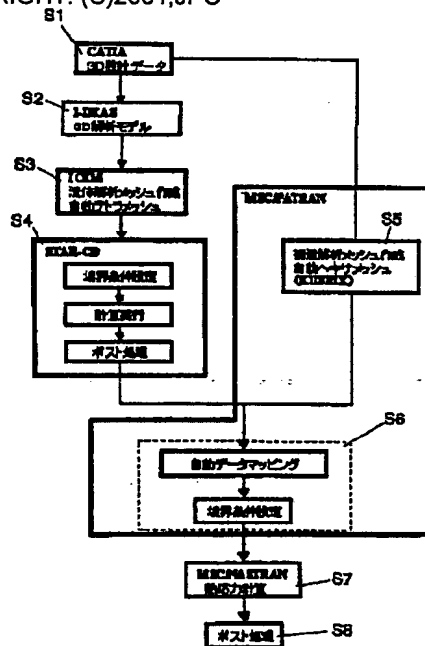
G06F 17/50**G06F 17/10**(21) Application number: **2000116145**(22) Date of filing: **18.04.00**(71) Applicant: **ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY
IND CO LTD**(72) Inventor: **KOO MIKIO
MATSUURA NATSUKO
TAKEI NOBUO****(54) METHOD FOR ANALYZING THERMAL FLUID AND
THERMAL STRESS OF FLUID MACHINERY****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a fluid analyzing and thermal stress analyzing method which can analyze fluid machinery such as a supercharger requiring both thermal fluid analysis and thermal stress analysis while greatly reducing an interface part by manual operation and also shorten a computation time by increasing computation precision.

SOLUTION: This method has an analytic model generation step S2, a fluid analytic mesh generation step S3 for automatically generating fluid analytic meshes by dividing a three-dimensional analytic model into tetrahedron cells, a thermal fluid analysis step S4 for taking an analysis of thermal fluid based upon the fluid analytic meshes, a structure analytic mesh generation step S5 for automatically generating structure analytic meshes by dividing three-dimensional design data S1 into hexahedron meshes, an automatic data mapping step S6 for automatically mapping the result of the thermal fluid analysis step according to the structure analytic meshes, a thermal stress computation step S7 for performing automatic data mapping and thermal stress computation based upon the

structure analytic meshes, and a postprocessing step S8 for displaying an image by processing the result of the thermal stress computation.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-306635

(P2001-306635A)

(43) 公開日 平成13年11月2日 (2001.11.2)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 6 F 17/50	6 1 2	G 0 6 F 17/50	6 1 2 J 5 B 0 4 6
	6 8 0		6 8 0 Z 5 B 0 5 6
17/10		17/10	Z

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-116145 (P2000-116145)

(22) 出願日 平成12年4月18日 (2000. 4. 18)

特許法第30条第1項適用申請有り 1999年11月20日 社団法人日本ガスタービン学会発行の「日本ガスタービン学会誌 Vol. 27, No. 6」に発表

(71) 出願人 000000099

石川島播磨重工業株式会社

東京都千代田区大手町2丁目2番1号

(72) 発明者 小尾 幹男

東京都江東区豊洲3丁目2番16号 石川島

播磨重工業株式会社東京エンジニアリング

センター内

(72) 発明者 松浦 奈津子

東京都江東区豊洲3丁目2番16号 石川島

播磨重工業株式会社東京エンジニアリング

センター内

(74) 代理人 100097515

弁理士 堀田 実 (外1名)

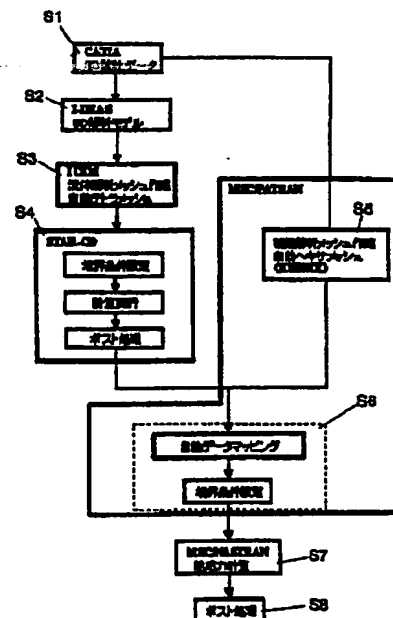
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法

(57) 【要約】

【課題】 熱流体解析と熱応力解析の両方が必要な過給機等の流体機械の解析を、手作業によるインターフェイス部分を大幅に低減して行うことができ、かつ計算精度を高め、計算時間を短縮することができる流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法を提供する。

【解決手段】 解析モデル作成ステップS2と、3次元解析モデルを4面体セルに分割して流体解析メッシュを自動作成する流体解析メッシュ作成ステップS3と、流体解析メッシュをベースに熱流体解析を行う熱流体解析ステップS4と、3次元設計データS1を6面体セルに分割して構造解析メッシュを自動作成する構造解析メッシュ作成ステップS5と、熱流体解析ステップの結果を構造解析メッシュに合わせて自動データマッピングする自動データマッピングステップS6と、自動データマッピングと構造解析メッシュをベースに熱応力計算を行う熱応力計算ステップS7と、熱応力計算の結果を処理して画像表示するポスト処理ステップS8と、を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 流体機械の3次元設計データS1から3次元解析モデルを作成する解析モデル作成ステップS2と、

前記3次元解析モデルを4面体セルに分割して流体解析メッシュを自動作成する流体解析メッシュ作成ステップS3と、

前記流体解析メッシュをベースに熱流体解析を行う熱流体解析ステップS4と、

前記3次元設計データS1を6面体セルに分割して構造解析メッシュを自動作成する構造解析メッシュ作成ステップS5と、

前記熱流体解析ステップの結果を前記構造解析メッシュに合わせて自動データマッピングする自動データマッピングステップS6と、

前記自動データマッピングと構造解析メッシュをベースに熱応力計算を行う熱応力計算ステップS7と、

前記熱応力計算の結果を処理して画像表示するポスト処理ステップS8と、を備えたことを特徴とする流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法。

【請求項2】 前記自動データマッピングは、熱流体解析ステップで得られたデータをベースに、流体解析メッシュと構造解析メッシュの数の異なるメッシュ間を補間しながら構造解析メッシュに合わせた熱伝達率と壁面温度のデータを作成する、ことを特徴とする請求項1に記載の流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、熱流体解析と熱応力解析の両方が必要な流体機械の解析を、短時間に高精度に行うための解析方法に関する。

【0002】

【従来の技術】過給機（ターボチャージャ）やターボコンプレッサは、自由曲面を多く含む複雑な3次元形状をもった流体機械であり、かつ多くの機械要素を含み、高温下での高速回転という過酷な環境にさらされるものである。そのため、過給機等の研究開発には、内部を流れる熱流体の解析と過給機を構成する構造の解析の両方が不可欠となる。

【0003】図10は、従来の解析方法を模式的に示すフロー図である。この図に示すように、従来の解析方法では、先ず熱流体解析から温度分布を求め、次いで固体部分の熱伝導解析、熱応力解析を行っていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】図10の従来の解析方法では、2次元図面をベースとして物作り（過給機の製造）が進行するため、解析自体はこの製造工程とは別に独立して進められていた。そのため、従来の解析方法では、図に太線枠で示すステップA、B、C、Dで時間がかかる問題点があった。以下、この問題点を更に詳しく

説明する。

【0005】（1）3次元モデルの作成（ステップA）従来の開発は2次元で行われているため、図面が完成してから解析用3次元モデルを作成していた。従って、2次元図面で表現しきれない部分のモデリングにおいて設計者とモデル作成者の間で頻繁にやりとりをしなければならず、モデル作成に手間取ることがあった。

【0006】（2）メッシュ生成（ステップB、C）流体解析用のメッシュ作成は構造解析に比べて細かく、かつ6面体であることが一般的であったので、手作業でメッシュを生成する必要があり、時間と労力を必要とした。また、構造解析用のメッシュ作成は粗い分割でよいが、流体解析用のメッシュとの整合を考慮するため、やはり手作業でメッシュを生成する必要があった。

【0007】（3）温度データのマッピング（ステップD）

従来の解析フローでは、熱流体解析と熱伝導解析が独立していたため、固体と流体との間は断熱又はある假定値において計算せざるを得なかった。また、熱流体解析から得られた熱伝達率と壁面温度を構造解析用メッシュに手動でマッピング（各部分の熱伝達率と壁面温度を設定する作業）する必要があった。さらに、このマッピングにおいて、流体解析と構造解析のメッシュ数が大きく異なる上、その数が膨大であることから手動での正確なマッピングは非常に困難であった。例えば、後述する例では流体解析用のメッシュ数は約69万、構造解析のメッシュ数は約8万である。そのため、熱流体解析から得られた熱伝達率と壁面温度のデータをそれぞれ近い値の範囲を大きくグループ化して代表値を設定し、これを相手側（構造解析用）に手動でマッピングしていた。したがって、このような解析方法では、解析時間がかかるばかりでなく、計算精度も低下する問題点があった。

【0008】上述したように、従来の解析方法では、各解析ステップをつなぐインターフェイスの部分を手作業で行う必要があり、その結果、1つのモデルを解析するのに数カ月（例えば3ヶ月）程度の長期間を必要としていた。

【0009】また、構造解析モデルの計算格子に4面体セルを用いると、計算精度が悪く計算時間も長い問題点があった。

【0010】本発明は、かかる問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、熱流体解析と熱応力解析の両方が必要な過給機等の流体機械の解析を、手作業によるインターフェイス部分を大幅に低減して行うことができ、かつ計算精度を高め、計算時間を短縮することができる流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、流体機

械の3次元設計データS1から3次元解析モデルを作成する解析モデル作成ステップS2と、前記3次元解析モデルを4面体セルに分割して流体解析メッシュを自動作成する流体解析メッシュ作成ステップS3と、前記流体解析メッシュをベースに熱流体解析を行う熱流体解析ステップS4と、前記3次元設計データS1を6面体セルに分割して構造解析メッシュを自動作成する構造解析メッシュ作成ステップS5と、前記熱流体解析ステップの結果を前記構造解析メッシュに合わせて自動データマッピングする自動データマッピングステップS6と、前記自動データマッピングと構造解析メッシュをベースに熱応力計算を行う熱応力計算ステップS7と、前記熱応力計算の結果を処理して画像表示するポスト処理ステップS8と、を備えたことを特徴とする流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法が提供される。

【0012】上記本発明の方法によれば、流体解析メッシュ作成ステップS3と構造解析メッシュ作成ステップS5とを並行させ、流体解析メッシュと構造解析メッシュを並行して自動で作成するので、手作業でのメッシュ生成をなくすることができる。また、自動データマッピングステップS6において、熱流体解析ステップの結果を前記構造解析メッシュに合わせて自動データマッピングするので、従来の構造解析用の手動マッピングをなくすることができる。更に、3次元解析モデルを4面体セルに分割して流体解析メッシュを自動作成することでメッシュ生成の大幅な省力化ができる。また3次元設計データを6面体セルに分割して構造解析メッシュを自動作成するので、4面体セルによる構造解析時の計算精度の低下を回避しつつ計算時間の短縮化ができる。従って、手作業によるインターフェイス部分を実質的に無くして短時間

に高精度に流体機械の解析を行うことができる。【0013】本発明の好ましい実施形態によれば、前記自動データマッピングは、熱流体解析ステップで得られたデータをベースに、流体解析メッシュと構造解析メッシュの数の異なるメッシュ間を補間しながら構造解析メッシュに合わせた熱伝達率と壁面温度のデータを作成する。この方法により、熱流体解析ステップで得られた熱伝達率と壁面温度を構造解析用メッシュに自動でマッピングすることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明による流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法のフロー図である。本発明の解析方法では、3次元モデルデータを主体とした開発プロセスに組み入れるため、3次元設計モデルが開発プロセスのなかで既に作られていることを前提とした流れとなっている。また、各処理をつなぐインターフェースツールを使用して処理の自動化を図っている。

【0015】図1に示すように、本発明の解析方法は、S1～S8の8つのステップに大別される。流体機械の

3次元設計データS1(3D設計データ)は、流体機械の寸法をデジタイザ等を用いて計測し、これを3次元データとして、コンピュータのメモリ等に入力・記憶する。また、設計データから直接3次元データを求め、同様にコンピュータのメモリ等に入力・記憶してもよい。例えば汎用ソフトCATIAを用いてこの3次元設計データS1を作成してもよい。

【0016】解析モデル作成ステップS2(S2ステップ)では、メモリ等に入力・記憶した流体機械の3次元設計データS1から3次元解析モデルを作成する。3D解析モデルは例えばI-DEASを用いて作成することができる。

【0017】流体解析メッシュ作成ステップS3(S3ステップ)では、流体機械の3次元解析モデルを4面体セルに分割して流体解析メッシュを自動作成する。すなわち流体解析メッシュを例えばICEMを用いて自動的にテトラメッシュとして作成する。

【0018】熱流体解析ステップS4(S4ステップ)では、流体解析メッシュをベースに熱流体解析を行う。このS4ステップは、境界条件設定、計算実行及びポスト処理からなり、例えばSTAR-CDを用いて熱流体解析をする。

【0019】構造解析メッシュ作成ステップS5(S5ステップ)では、3次元設計モデルS1を6面体セルに分割して構造解析メッシュを自動作成する。すなわち構造解析メッシュを例えばMSC/PATRANを用いて自動的にヘキサメッシュとして作成する。

【0020】自動データマッピングステップS6(S6ステップ)では、熱流体解析ステップの結果を構造解析メッシュに合わせて自動データマッピングし、次いで境界条件を設定する。このS6ステップにも例えばMSC/PATRANを用いる。熱応力計算ステップS7(S7ステップ)では、例えばMSC/NASTRANを用いて自動データマッピングと構造解析メッシュをベースに熱応力計算を行う。ポスト処理ステップS8(S8ステップ)では、前記熱応力計算の結果を処理して画像表示するポスト処理を実施する。

【0021】なお、上述したCATIA、I-DEAS、ICEM、STAR-CD、MSC/PATRAN及びMSC/NASTRANは、既存の有限要素法汎用ソフトである。以下、従来の解析方法と比較して説明する。

【0022】(1)3次元設計データ作成(S1、S2ステップ)

3次元モデルデータを主体とした開発プロセスでは、設計者自身が設計作業のなかで3次元設計データS1を作成する。従って、従来のように2次元図面からモデルを新規に作成する場合に比べ、本発明の方法では格段のスピードアップが可能である。また、設計者と解析者の思い違いなどによるモデルの不整合を避けることができ

る。図2に解析のもとになるモデルの例を示す。

【0023】(2)メッシュ生成(S3、S5ステップ)

本発明の方法では、流体解析メッシュには3次元解析モデルを4面体セルに分割した自動テトラメッシュを使って作業時間の大幅な短縮を図っている。流体解析メッシュ用の自動テトラメッシュ分割は、八分木法、デローニ一分割法、又は前進先端法のいずれかの自動格子生成アルゴリズムによるのがよい。このように従来は流体解析メッシュ用も手動で6面体セルに分割していたが、これを4面体セルに分割することにより自動でメッシュ生成ができるようになった。図3に得られた流体解析メッシュを示す。この結果、総メッシュ数約69万の流体解析メッシュを自動で生成ができた。

【0024】一方、構造解析メッシュには3次元設計モデルを6面体セルに分割した自動ヘキサメッシュを用いて構造解析時の計算精度の向上と計算時間の短縮化を図っている。この構造解析メッシュも上述したMSC/PATRANを用いて3D設計モデルから直接かつ自動的にヘキサメッシュを作成することかできる。図4は、4面体セルに分割した構造解析テトラメッシュ(A)と6面体セルに分割した構造解析ヘキサメッシュ(B)を示している。構造解析テトラメッシュ(A)の総メッシュ数は約8万2千であり、本発明による構造解析ヘキサメッシュ(B)の総メッシュ数は約3万6千である。6面体セルによる自動ヘキサメッシュにより、総メッシュ数が半減することがわかる。

【0025】(3)温度データのマッピング(S4、S6ステップ)

図5に熱流体解析の結果である固体部分の温度分布データを示す。この例では高温のガス通路の周りに冷却水路があり、固体部分を通して熱の出入りがある。そこで*

* 固体部分の熱伝導も含めて熱流体解析側で計算した。結果は構造解析用プリプロセッサを通して自動データマッピングで流体解析メッシュから構造解析メッシュへマッピングした。

【0026】図6にマッピング前の流体解析メッシュ上の温度データ、図7にマッピング後の構造解析メッシュ上の温度データを示す。図7において(A)は構造解析テトラメッシュへのマッピング後、(B)は構造解析ヘキサメッシュへのマッピング後である。自動データマッピングを用いることで、数の異なるメッシュ間を補間しながらデータを受け渡すので十分な精度が得られる。この例ではテトラメッシュ、ヘキサメッシュのいずれも約7時間でマッピングを完了した。従来の手動マッピングでは約3ヶ月を要していたので、これに比べて大幅な時間の短縮と、精度向上の両面で大きな効果が得られた。

【0027】図8は最終的に得られた熱応力解析結果の例であり、(A)は1次要素のテトラメッシュの場合、(B)はヘキサメッシュの場合である。図8から1次テトラメッシュの場合(A)とヘキサメッシュの場合(B)とで熱応力の解析結果に差があることがわかる。

【0028】図9は最終的に得られた熱変位解析結果の例であり、(A)は1次要素のテトラメッシュの場合、(B)はヘキサメッシュの場合である。図9から1次テトラメッシュの場合(A)とヘキサメッシュの場合(B)とで熱変位の解析結果には差がないことがわかる。

【0029】表1は、図8と図9から得られた最大熱応力と最大熱変位の正確な値を100%としたときの比較表である。

【0030】

【表1】

要素の種類	最大ミーゼス応力 (kg/mm ²)	最大変位 (mm)
テトラ 1次	80%	98%
ヘキサ 1次	100%	100%

【0031】表1から、ヘキサメッシュでは、最大熱応力、最大熱変位とも正確な値100%が解析で得られるのに対して、テトラメッシュでは、最大熱変位はほぼ正確だが最大熱応力は正確な値の80%となっているのがわかる。従って、構造解析メッシュにテトラメッシュを採用すると精度が低下するのに対して、ヘキサメッシュでは高精度が得られることがわかる。

【0032】

【発明の効果】上述したように、本発明の方法によれば、流体解析メッシュ作成ステップS3と構造解析メッシュ作成ステップS5とを並行させ、流体解析メッシュと構造解析メッシュを並行して自動で作成するので、手

作業でのメッシュ生成をなくすることができる。また、自動データマッピングステップS6において、熱流体解析ステップの結果を前記構造解析メッシュに合わせて自動データマッピングするので、従来の構造解析用の手動マッピングをなくすることができる。更に、3次元解析モデルを4面体セルに分割して流体解析メッシュを自動作成することでメッシュ生成の大幅な省力化ができる。また3次元設計データを6面体セルに分割して構造解析メッシュを自動作成するので、4面体セルによる構造解析時の計算精度の低下を回避しつつ計算時間の短縮化ができる。従って、手作業によるインターフェイス部分を實質的に無くして短時間に高精度に流体機械の解析を行うこ

とができる。

【0033】また、自動データマッピングは、熱流体解析ステップで得られたデータをベースに、流体解析メッシュと構造解析メッシュの数の異なるメッシュ間を補間しながら構造解析メッシュに合わせた熱伝達率と壁面温度のデータを作成するので、熱流体解析から得られた熱伝達率と壁面温度を構造解析用メッシュに自動でマッピングすることができる。

【0034】従って、本発明の流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法は、熱流体解析と熱応力解析の両方が必要な過給機等の流体機械の解析を、手作業によるインターフェイス部分を大幅に低減して行うことができ、かつ計算精度を高め、計算時間を短縮することができる、等の優れた効果を有する。

【0035】なお、本発明は、上述した実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々に変更できることは勿論である。例えば、上述の例では過給機のタービンハウジングに適用しているが、その他の流体機械にも同様に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による流体機械の熱流体解析・熱応力解析方法のフロー図である。

【図2】本発明による解析モデルの形状モデル図である。

*【図3】流体解析メッシュの例を示す図である。

【図4】構造解析メッシュの例を示す図である。

【図5】温度分布の計算結果例である。

【図6】温度データの自動マッピング例を示す図である。

【図7】温度データの自動マッピング例を示す図である。

【図8】熱応力の計算結果を示す図である。

【図9】熱変位の計算結果を示す図である。

10 【図10】従来の熱流体解析・熱応力解析方法のフロー図である。

【符号の説明】

A 3D解析ベースモデル

B 流体解析メッシュ作成

C 構造解析メッシュ作成

D 手動データマッピング

S1 3D設計データ

S2 解析モデル作成ステップ

S3 流体解析メッシュ作成ステップ

20 S4 熱流体解析ステップ

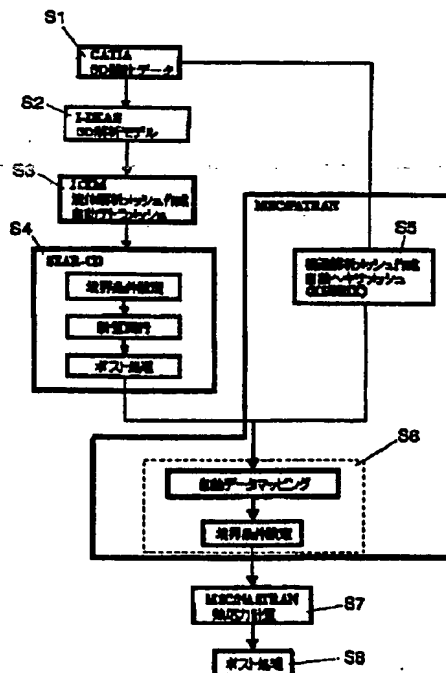
S5 構造解析メッシュ作成ステップ

S6 自動データマッピングステップ

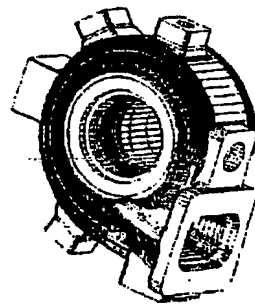
S7 熱応力計算ステップ

* S8 ポスト処理ステップ

【図1】



【図2】



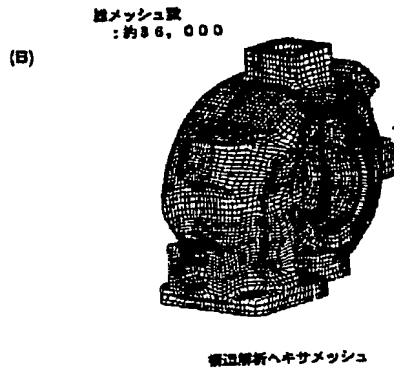
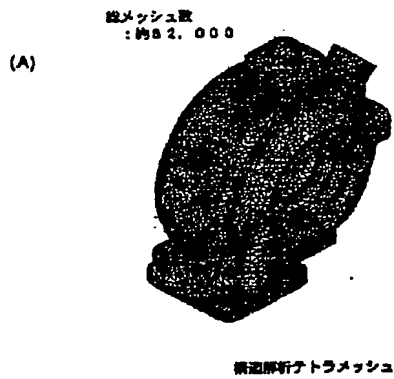
タービンハウジング形状モデル

【図3】



流体解析メッシュ

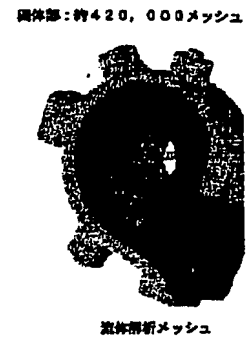
【図4】



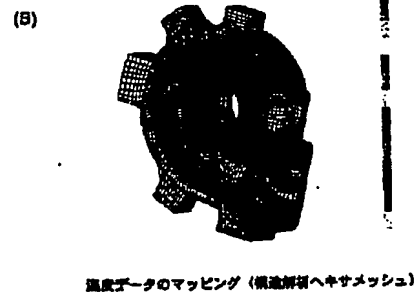
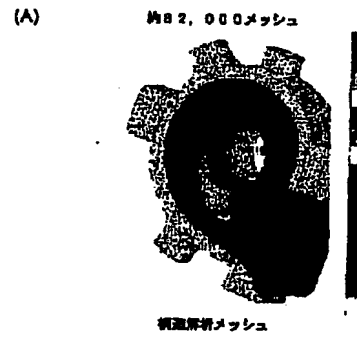
【図5】



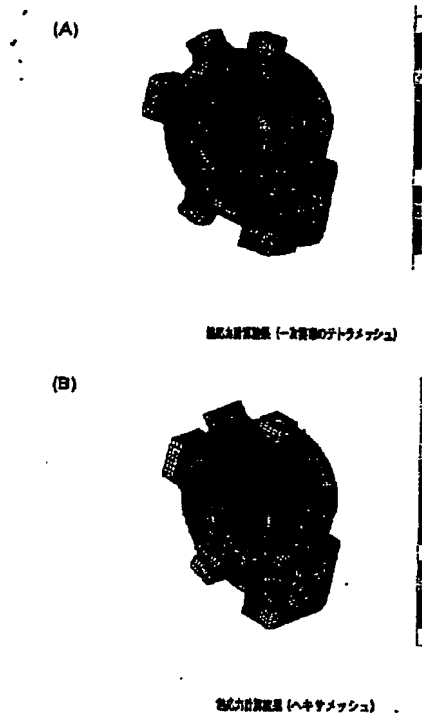
【図6】



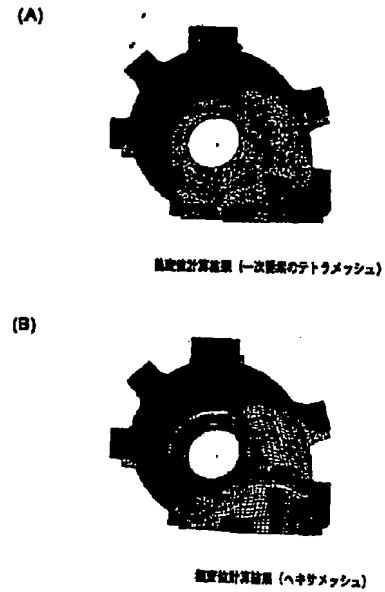
【図7】



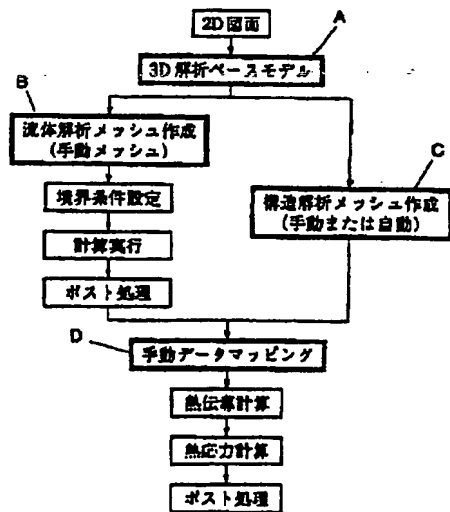
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 武井 伸郎

東京都江東区豊洲3丁目2番16号 石川島
播磨重工業株式会社東京エンジニアリング
センター内

Fターム(参考) 5B046 FA18 JA08 JA09

5B056 AA04 BB01 BB52 BB95 HH03